
Przytulski, Andrzej; Gens, Wolfgang :

***Berechnung der Spannungsbeanspruchung von in Reihe
geschalteten Leistungsdioden***

Zuerst erschienen in:

Wissenschaftliche Zeitschrift // Technische Hochschule Ilmenau. -
Ilmenau : Techn. Hochschule, ISSN 0043-6917, Bd. 31 (1985), 3, S.
157-161

PRZYTULSKI, A./ GENS, W.

Berechnung der Spannungsbeanspruchung von in Reihe geschalteten Leistungsdioden

1. Einleitung

Die zulässigen Strom- und Spannungsbeanspruchungen von Einzelventilen sind für praktische Anwendungen der Leistungselektronik nicht immer ausreichend. Im Falle der Überschreitung der zulässigen Sperrspannung eines Einzelelementes muß auf die Reihenschaltung von zwei oder mehreren Elementen zurückgegriffen werden. Ein solcher Fall kann z. B. bei einem Gleichspannungssteller auftreten, wo die Freilaufdioden FD_1 und FD_2 in Reihe geschaltet werden müssen (Bild 1). Die Kompliziertheit des Betriebes von

Reihenschaltungen besteht darin, daß die zulässigen Beanspruchungen der Einzelventile nicht überschritten werden dürfen. Deshalb ist die Analyse ihrer Arbeitsbedingungen notwendig. Sie gestattet die Auswahl optimal bemessener Elemente der RC-Beschaltungen sowie die Festlegung der Zahl der in Reihe zu schaltenden Ventile.

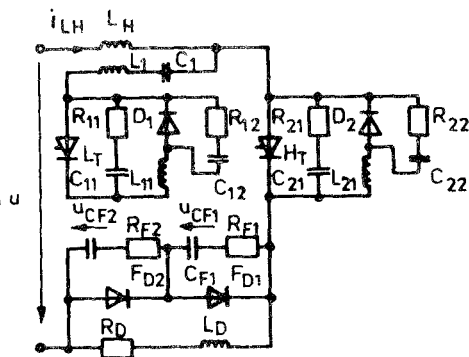


Bild 1: Schaltbild des Gleichspannungsstellers

Ausgangspunkt für die Berechnung sind die physikalischen Vorgänge im Gleichspannungssteller. Diese laufen prinzipiell entsprechend unterschiedlicher Zeitkonstanten in unterschiedlichen Zeitebenen ab (vgl. PETZOLDT, J.; PRZYTULSKI, A.; NOTHNAGEL, F. /1/). Zur Vereinfachung der

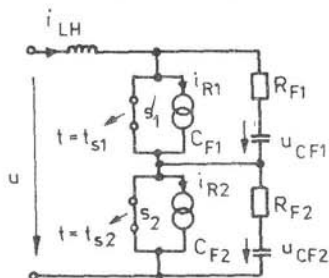
Berechnung werden nur jene Schaltungselemente berücksichtigt, die die interessierenden Ausgleichsvorgänge maßgeblich bestimmen. Im vorliegenden Fall gilt: $L_D \gg L_H$, die Ausschaltzeit ist wesentlich kleiner als die Ausschaltzeit des Einzelventils FD_1 bzw. FD_2 .

2. Berechnung des Ausschaltvorganges von zwei in Reihe geschalteten Dioden

Bei der Analyse der Sperrspannungsübernahme in Reihenschaltungen von Dioden ist es erforderlich, den Zusammenhang zwischen ungleicher Verteilung der Spannung und Streuung der dynamischen Parameter der Ventile zu berücksichtigen. Es handelt sich dabei hauptsächlich um die Streuung der Rückstromspitzen I_{RM} , die Dioden des gleichen Types für gleiche Arbeitsbedingungen besitzen können.

Die Dioden werden für den Ausschaltvorgang entsprechend eines Vorschlages von NIKOLOFF, I. modelliert. Sie werden als Parallelschaltung eines Schalters und einer Stromquelle dargestellt. Solange die Ströme der Ventile den Wert der Rückstromspitze noch nicht erreicht haben, bleiben die Schalter geschlossen. Bild 2 zeigt das Schaltbild des Modells der Reihenschaltung.

Bei der Modellierung des Ausschaltvorganges ist es zweckmäßig, die Berechnungen nur in dem Zeitabschnitt durchzuführen, in dem der Diodenstrom seine Rückstromspitze erreicht und sich daran anschließend bis auf den Wert Null verringert. Der Übergangsprozeß bei der Sperrspannungsübernahme einer Reihenschaltung von zwei Dioden wird mit Hilfe zweier Differentialgleichungssysteme (DGS) beschrieben. Sie kommen in einer bestimmten Reihenfolge zur Wirkung. Bild 3 bildet die Grundlage für das Berechnungsverfahren (vgl. Boldyrev, E.A.; Vorotnikova, L.I.; Epifanova, G.S. /3/).



Bis zum Zeitpunkt t_{s1} sind die beiden Schalter geschlossen. Die Diodenströme werden nach der Beziehung (1) berechnet,

$$i_{LH} = I_F - \frac{U}{L_H} \cdot t \quad (1)$$

mit I_F als Durchlaßstrom vor der Kommutierung. Es wird angenommen, daß die Diode

Bild 2: Ersatzschaltbild FD_1 eine kleinere Rückstromspitze I_{RM1} zur Berechnung des als die Diode FD_2 bei gleichen Arbeitsbedingungen hat. Die Ströme i_{R1} und i_{R2} , die durch entsprechende Stromquellen modelliert werden, entsprechen den Verläufen der abfallenden Flanken der Rückströme der Dioden, wenn sie einzeln ausgeschaltet werden. Zum Zeitpunkt t'_{s1} ist der Diodenstrom i_{R1} gleich der Rückstromspitze I_{RM1} und die Diode FD_1 beginnt zu sperren. In dem Schaltbild nach Bild 2 entspricht das dem Öffnen des Schalters S_1 . Wird die Stromquelle i_{R1} mit Hilfe der Gl. (2) modelliert,

$$i_{R1} = I_{RM1} \exp \left[-b_1(t - t'_{s1}) \right], \quad (2)$$

kann man das Netzwerk durch das DGS

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{LH} \\ U_{CF1} \\ U_{CF2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_1}{L_H} & -\frac{1}{L_H} & 0 \\ \frac{1}{C_{F1}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{R_{F2}C_{F2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{LH} \\ U_{CF1} \\ U_{CF2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_H} & \frac{R_1}{L_H} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ i_{R1} \\ i_{R2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

mit $b_1 = 1/\tau_{f1}$ beschreiben.

Die Zeitkonstante τ_{f1} wird nach dem in (s. NIKOLOFF, I./2/) angegebenen Verfahren berechnet. Sie kann auch experimentell ermittelt werden. Das DGS (3) gilt bis zum Zeitpunkt t_{s2} . Mit Hilfe von Gl. (1) läßt sich die Zeit t'_{s2} berechnen. Zu diesem Zeitpunkt soll theoretisch die Diode FD_2 ihre Rückstromspitze I_{RM2} erreichen. Wegen des Sperrens der ersten Diode FD_1 vermindert sich jedoch die Anstiegsgeschwindigkeit des Stromes, der durch die Induktivität L_H fließt und der zugleich der Strom der zweiten Diode ist. Der Diodenstrom i_{R2} erreicht deshalb nicht mehr den Wert I_{RM2} . Es wird angenommen, daß das zweite Ventil zu sperren beginnt, wenn sein theoretischer Stromverlauf dem Strom, von dem es tatsächlich durchflossen wird, gleich wird. Das geschieht im Bild 3 zum Zeitpunkt t_{s2} . Dieser Zeitpunkt wird nach iterativem Vergleich der Ströme i_L und i_{R2} für die Zeit $t < t'_{s2}$ ermittelt. Die Modellierung der Stromquelle i_{R2} erfolgt nach Gl. (1)

$$i_{R2} = I_{RM2} \exp \left[-b_2(t - t_{s2}) \right] \text{ mit } b_2 = 1/\tau_{f2}. \quad (4)$$

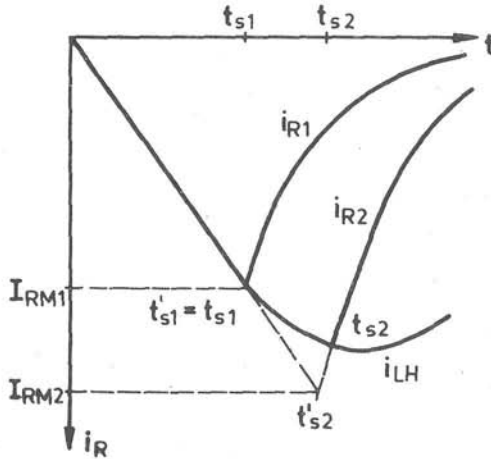


Bild 3: Zeitlicher Verlauf der Rückströme von zwei in Reihe geschalteten Dioden

Die Zeitkonstante τ_{f2} wird analog wie τ_{f1} berechnet. Für $i_L = i_{R2}$ und $t = t_{s2}$ wird die Struktur der Schaltung wieder geändert. Zum Zeitpunkt t_{s2} wird der Schalter S_2 geöffnet. Das wirksame Netzwerk lässt sich durch das DGS (5)

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{LH} \\ U_{CF1} \\ U_{CF2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_1+R_2}{L_H} & -\frac{1}{L_H} & -\frac{1}{L_H} \\ \frac{1}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{LH} \\ U_{CF1} \\ U_{CF2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_H} & \frac{R_1}{L_H} & \frac{R_2}{L_H} \\ 0 & -\frac{1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{R1} \\ i_{R2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

beschreiben.

Auf der Grundlage der vorhergehenden Überlegungen wurde ein Programm entwickelt. Mit Hilfe dieses Programmes ist die Untersuchung der charakteristischen Zusammenhänge zwischen den dynamischen Parametern der Dioden und ihres Ausschaltverhaltens möglich.

3. Zusammenfassung

Beim Ausschalten in Reihe geschalteter Dioden kann man anhand der durchgeführten Berechnungen erkennen, daß die Dioden mit der größeren Rückstromspitze immer die kleinere Sperrspannung übernehmen. Beim Einzelbetrieb von Dioden ist es umgekehrt. Bei gleichen Arbeitsbedingungen übernehmen die Ventile, die die größere Rückstromspitze besitzen, immer eine größere Sperrspannung. Die Zeitkonstante der abfallenden Flanke des Rückstromes spielt bei der Reihenschaltung eine untergeordnete Rolle. Deshalb müssen für eine Reihenschaltung vorgesehene Ventile sorgfältig ausgewählt werden (gleiche Rückstromspitzen). Die Zahl der in Reihe geschalteten Dioden wurde auf zwei begrenzt. Es ist prinzipiell möglich, die Berechnungen auf eine größere Anzahl von Dioden zu erweitern. Dabei können Dioden mit geringer Parameterstreuung zu einer Gruppe zusammengefaßt und als ein äquivalentes Ersatzventil mit entsprechender RC-Beschaltung dargestellt werden.

Literatur

- /1/ Petzoldt, J.; Przytulski, A.; Nothnagel, F.: Kondensatorarmer Stromwechselrichter - Auslegung, Simulation, Betriebsergebnisse, 28. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Ilmenau, Oktober 1983, Heft 1, Vortragsreihen A1, A2, S. 23 - 25
- /2/ Nikoloff, I.: Mathematische Modelle von Leistungsdioden und Thyristoren für deren Ein- und Ausschaltzustände zur Berechnung von Stromrichterschaltungen, Wissenschaftliche Zeitschrift TH Ilmenau 27 (1981), Heft 5, S. 123 - 139
- /3/ Boldyrev, E. A.; Vorotnikova, L. I.; Epifanova, G. S.: Fiziceskoe i matematiceskoe modelirovanie processa vosstanovlenija obratnogo naprijazeniya na posledovatelno soedinennych ventiljach, Elektricesstvo № 9, 1970, S. 66 - 71

Verfasserangaben

Dipl.-Ing. Andrzej Przytulski, wiss. Oberassistent,
IHS Opole, VR Polen, z. Z. der Bearbeitung Aspirant an der
TH Ilmenau, Sektion Elektrotechnik

Dr.-Ing. Wolfgang Gens, Dozent, TH Ilmenau, Sektion Elektrotechnik,
6300 Ilmenau, PSF 327

Eingang des Manuskripts: 6. September 1984